Aus dem Hygienischen Institut der Universität München

Die desinfizierende Wirkung der Gasbeleuchtung auf Zimmerluft

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen medizinischen Fakultät der Universität München

vorgelegt von

Knud Ahlborn
approb. Arzt und Assistent in München

München 1914
Druck von R. Oldenbourg

Aus dem Hygienischen Institut der Universität München

Die desinfizierende Wirkung der Gasbeleuchtung auf Zimmerluft

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen medizinischen Fakultät der Universität München

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

vorgelegt von

Knud Ahlborn
approb. Arzt und Assistent in München

München 1914
Druck von R. Oldenbourg

Gedruckt mit Genehmigung der medizinischen Fakultät
der Universität München

Referent:
Herr Obermedizinalrat Prof. Dr. Max Ritter v. Gruber

Vivian B. Lewes [1]), Samuel Rideal [2]) und G. Stanley Cooper [3]) haben auf experimentellem Wege den relativen hygienischen Wert der Gasbeleuchtung, verglichen mit dem der elektrischen Beleuchtung festzustellen versucht. Sie behaupten, daß die größere Wärmeproduktion bei der Gasbeleuchtung eine derartige Erhöhung der natürlichen Ventilation bedinge, daß nicht nur die Kohlensäureanreicherung der Luft auf einer für die Gesundheit unschädliche Höhe gehalten werde, sondern auch die Temperaturerhöhung der Luft unbeträchtlich bleibe. Ausgedehnte Untersuchungen über diese Frage, welche Herr Dr. H. Ilzhöfer im hiesigen Institute angestellt hat, werden demnächst veröffentlicht werden. Vivian Lewes hat weiterhin die Behauptung aufgestellt: »daß, bei der Gasbeleuchtung, die in der Luft enthaltenen häufig krankheitserregenden Keime nicht nur durch die Flamme selbst zerstört und verbrannt, sondern auch durch die in den Verbrennungsprodukten enthaltene geringe Menge schwefliger Säure vernichtet und desinfiziert werden«.

---

1) Vivian B. Lewes, Journal of Gas Lighthing, June 25. 1907. „Use of Gas from a hygienic Standpoint".

2) Samuel Rideal, Journal of Gas Lighting, Mart 1908. „The relative Hygienic Values of Gas- and Electric Lighting".

3) G. Stanley Cooper, Journal of Gas Lighting, December 6. 1910. „Relative effects of Gas and Electric Light on the purity of air."

Während der zweite Teil dieser Behauptung, wegen der fast völligen Freiheit des deutschen Leuchtgases von schwefliger Säure, für uns bedeutungslos ist, fordert der erste Teil zu einer experimentellen Untersuchung heraus. Samuel Rideal versuchte es, einen entsprechenden Nachweis zu führen, indem er in einem Raume, in dem das eine Mal Gas, das andere Mal elektrisches Licht brannte, Gelatineplatten aufstellte und die Zahl der aus der Luft auf sie herabgefallenen Keime — in den Kulturen nachgewiesen — miteinander verglich. Als Resultat der Untersuchung teilte er mit, daß die Keimzahl bei Gas und elektrischem Licht geringer war als ohne irgendwelche Beleuchtung, und daß die Verminderung bei der Gasbeleuchtung größer war als bei der elektrischen. Er versuchte auch, die Zahl der schwebenden Keime durch Aspiration bekannter Luftmengen durch Zuckerfilter oder Gelatinerohre bei Gas und bei elektrischem Licht zu ermitteln. Die Resultate hat er aber, „wegen ungenügender Versuchszahl", nicht mitgeteilt. Ich habe es darum im Auftrage des Herrn Professor v. Gruber übernommen, diese Frage eingehender experimentell zu prüfen.

* * *

Folgender Plan lag meiner Arbeit zugrunde:

Die Wirkung der Gasbeleuchtung soll an besonders widerstandsfähigen Subtilissporen untersucht werden. Die Subtilissporen werden in abgemessener Menge in einem gut abgeschlossenen Wohnraum aufgewirbelt und vermittelst künstlicher Luftbewegung immer wieder vom Boden emporgewirbelt bzw. schwebend erhalten. In bestimmten Zeitabschnitten wird aus dem Wohnraume eine bestimmte größere Luftmenge entnommen und bakteriologisch auf ihren Keimgehalt untersucht. Ist auf diese Weise ermittelt, von welchem Zeitpunkte ab nach der Sporenaufwirbelung eine annähernd konstant bleibende Keimzahl in der Luftmengeneinheit enthalten ist, so wird nach diesem Zeitpunkte eine mit Fernzündung ausgestattete Gasbeleuchtungseinrichtung angezündet und festgestellt, ob und in welchem Maße unter der

Einwirkung des Gaslichtes die Sporenzahl in der Luftmengeneinheit in der Zeiteinheit sinkt.

Vor der ersten und zwischen den folgenden Versuchsreihen soll eine Desinfektion des Zimmerbodens mit Chlorkalk vorgenommen werden. Um ein möglichst eindeutiges Resultat zu erhalten, sollen mehrere Parallelversuche mit und ohne Gasbeleuchtung durchgeführt werden.

Um diesen Plan zu verwirklichen, mußten folgende Vorarbeiten erledigt werden:

1. Die Gewinnung eines genügend widerstandsfähigen und zur Aufwirbelung in der Luft geeigneten Sporenmaterials (S. 3—4).

2. Die Beschaffung und Einrichtung eines geeigneten Versuchsraumes (S. 4—5).

3. Die Anlage einer mit Fernzündung und entsprechenden Brennern versehenen Gasbeleuchtung (S. 5—6).

4. Die Ausstattung des Versuchsraumes mit Apparaten zur Aufwirbelung der Sporen und zur Erzeugung der künstlichen Luftbewegung (S. 6).

5. Die Beschaffung einer Vorrichtung zur Entnahme abgemessener Luftmengen aus dem Versuchsraum (S. 6).

6. Die Herrichtung von Luftfiltern für die Aufnahme der in den abgemessenen Luftmengen enthaltenen Sporen (S. 6—7).

7. Die Herstellung einer Chlorkalklösung, die mit Sicherheit die Sporen in kurzer Zeit abtötet (S. 7—8).

8. Die Ermittelung eines Nährbodens, in dem die abfiltrierten Keime schnell und gut isoliert sich entwickeln können (S. 8—10).

ad 1. Als Sporenmaterial waren von vornherein die Sporen des Bac. subtilis in Aussicht genommen worden. Diese sind verhältnismäßig leicht zu gewinnen und zu erkennen und im Gebrauch für die Gesundheit des Untersuchers ungefährlich. Gegenüber den in der Luft am häufigsten vorkommenden Schimmelsporen besitzen die Subtilissporen die Fähigkeit, auch bei höheren Temperaturen auszukeinem und sich zu vermehren. Diese Eigenschaft ermöglicht ihre Züchtung bei 37° C auf Agar-Agar, wodurch sie der, bei niederen Temperaturen z. B. bei 22° C, auf Gelatine oft beobachteten Überwucherung durch Luftschimmel entgehen (vgl. S. 13 ff.). Zur Gewinnung der Subtilissporen mußten zunächst Reinkulturen von Heubazillen angelegt werden. Es wurde in Anlehnung an die ursprünglichen Angaben von Roberts

Heu mit möglichst wenig Wasser übergossen und vier Stunden bei 37° C eingeweicht. Dann wurde der Heuaufguß durch ein Drahtnetz gegeben, auf 1,0004 spez. Gewicht verdünnt und eine Stunde lang gekocht. Das so erhaltene Heuinfus kam nach der Abkühlung 48 Stunden lang in den Brütschrank von 37° C. Aus der sich dann besonders an der Oberfläche in Form eines Häutchens entwickelnden üppigen Bakterienvegetation wurden mit Hilfe des Kochschen Plattenverfahrens Reinkulturen auf Agar-Agar, Gelatine und Kartoffeln angelegt und eine Reihe von Subtilisstämmen isoliert.

Es galt nun, große Massen besonders widerstandsfähiger Sporen zu gewinnen. Zu diesem Zwecke wurden sogenannte Kolleschalen (von etwa 30 cm Durchmesser) mit einer 2 bis 3 cm hohen Schichte eines Heuaufgusses von 1,004 spez. Gewicht an ihrem Boden bedeckt. Auf diese Weise wurde eine große Oberfläche der Kulturflüssigkeit bei dünner Schichte erzielt und damit für eine reichliche Sauerstoffzufuhr, die erfahrungsgemäß für die Sporenbildung erforderlich ist, gesorgt. Die so gefüllten Schalen wurden mit Subtilisbakterien der verschiedenen Stämme beimpft und während zwei bis drei Tagen bei der Brüttemperatur von 37° C gehalten. In dieser Zeit bildeten sich an der Oberfläche der Kulturflüssigkeit grauweiße Häute, die fast ausschließlich aus Subtilissporen bestanden. Die so gewonnenen Sporen wurden in Reagenzröhren überbracht und im Kochschen Dampftopfe der Einwirkung des strömenden Dampfes ausgesetzt. Es wurde jener Subtilisstamm ausgesucht, der die Erhitzung am längsten aushielt.

So wurde ein Stamm gewonnen, der in seiner Sporenform 3½ Stunden langes Kochen ertrug. Von diesem Stamme wurden nun nach dem oben erwähnten Verfahren Kulturen angelegt, die in drei Schalen eine für alle Versuche reichlich genügende Menge, etwa ½ ccm-Sporenmasse, lieferten. Durch wiederholtes Waschen vermittelst sterilen Wassers in der Zentrifuge wurden die Sporen von anhaftenden Partikelchen des Heuinfuses gesäubert und dann mit ca. 10 ccm einer sterilen, dickflüssigen Aufschwemmung von Talkumpulver vermischt. Der Talkumsporenschlamm wurde dann im „Föhn", einem elektrisch betriebenen Trockenapparate, getrocknet und im sterilen Mörser zu feinem Pulver zerrieben. Das Pulver wurde mit ca. 290 ccm ebenso feinen sterilen Talkumpulvers „verdünnt" und durch ein enges Haarsieb gegeben. Auf diese Weise erhielt ich einen zur Aufwirbelung in der Luft gut geeigneten Sporentalkumstaub, der, wie aus den später mitzuteilenden Zahlen annähernd berechnet werden konnte, in 300 ccm Talkumstaub ca. 2000 Millionen[1]) Subtilissporen enthielt.

ad. 2. Mir standen für den Versuch Räumlichkeiten in der „Versuchswohnung", Trappentreustr. 39, zur Verfügung. Das Haus, in dem sich die Versuchswohnung befand, ist drei Stockwerke hoch und enthält in jedem Stockwerk vier Wohnungen. Es lehnt sich zu beiden Seiten unmittelbar an ebenso hohe Nachbarhäuser an. Seine Vorderfront liegt nach Osten. Die natürlichen Lüftungs- und Ventilationsverhältnisse entsprechen den auch sonst in Etagenhäusern angetroffenen. Die eigentliche Versuchswohnung liegt im 3. Stock

1) Vgl. S. 31. Es wurde bei allen Versuchen nicht ganz $^1/_3$ meines Sporentalkumstaubes verbraucht.

unmittelbar unter dem Speicher. Sie besteht aus fünf annähernd gleichgroßen, länglich-rechteckigen Räumen, die mit ihrer längeren Seite aneinander liegen und hier zum Teil durch Türen miteinander verbunden sind. Ihre kürzeren Seiten sind nach Osten mit je einem mittelgroßen Fenster versehen, nach Westen mit einer Tür, die auf einen, an allen Räumen vorbeistreichenden Gang führt.

Es wurden nun zwei der mittleren Räume ausgewählt: unmittelbar nebeneinander liegende, von denen der eine für die Aufwirbelung der Sporen und die Gasbeleuchtung — also für den Versuch im engeren Sinne — der andere für die Aufstellung der Luftentnahmevorrichtung und der Schalttafeln für die Gasfernzündung sowie auch für den Aufenthalt des Untersuchers dienen sollte. Ich nenne hiervon den ersteren Raum das Versuchszimmer (Fig. 1 V.-Z.) den letzteren das Aufenthaltszimmer (Fig. 1 A.-Z.). Das Versuchszimmer

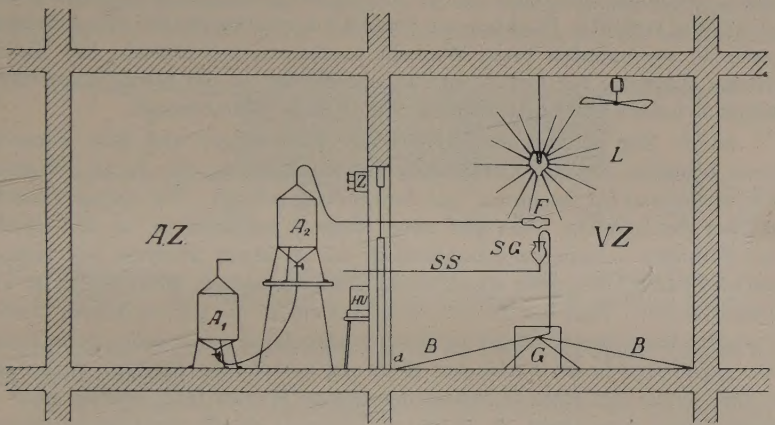


Fig. 1.

hatte eine Bodenfläche von 6,17 × 3,05, eine Höhe von 3,5 und, nach Abzug des Raumes einer einspringenden Schornsteinecke, einen Rauminhalt von 57,1 cbm. Es besaß ein Fenster und zwei Türen. Das Fenster ging, wie erwähnt, nach außen. Die Verbindungstür zwischen dem Versuchszimmer und dem Aufenthaltszimmer war durch eine Holzverschalung verschlossen. Darin befand sich ein Guckfenster, das einen Einblick in das geschlossene Versuchszimmer ermöglichte. Beide Fenster waren mit Deckeln aus Pappe versehen, mit denen sie nahezu lichtdicht verschlossen werden konnten. Die nach dem Gange führende Tür war während des eigentlichen Versuches dauernd verschlossen. Das Versuchszimmer hatte einen dichten Parkettfußboden. Die Wände waren einfach mit Kalk geweißt.

ad 3. In dem Versuchszimmer wurden drei Graetzinlampen angebracht (Fig. 1, L.), die mit einer elektrischen Fernzündung vom Aufenthaltszimmer aus angezündet werden konnte. (Schalttafel Fig. 1, Z.). Das den Lampen zugeleitete Gas ging durch eine Gasuhr (Fig. 1, HU), die im Aufenthaltszimmer aufgestellt war und die gestattete, die bei der Beleuchtung verbrauchte Gas-

menge unmittelbar abzulesen. Die Graetzinlampen wurden mit unten offenen Glasglocken versehen, im Gegensatz zu den bei diesem Hängeglühlicht meist verwendeten unten geschlossenen. Diese offenen Glocken ermöglichten einen dem gewöhnlichen Auerlicht entsprechenden ungehemmt-gerade strömenden Luftzutritt zu den Beleuchtungskörpern.

ad 4. Zur Aufwirbelung der Sporen und zur Aufrechterhaltung einer starken Luftbewegung wurde ein mit einem, ein viertelpferdekräftigen elektrischen Motor betriebenes Gebläsewerk (Fig. 1, G.) gebaut, das ca. 90 l Luft pro Minute förderte, und das mit 11 Blasrohren versehen war. Eines dieser Blasrohre mündete in der Mitte des Versuchsraumes unmittelbar über dem Boden eines Spitzglases, das vom Aufenthaltsraume aus mit einer Schüttelstange (Fig. 1, S. S.) geschüttelt werden konnte, und das das aufzuwirbelnde Sporenmaterial aufnehmen sollte. Die übrigen Blasrohre mündeten in den Ecken des Zimmers und an dazwischen gleichmäßig verteilten Punkten, um während des Versuches die Anlagerung der Sporen in sogenannten toten Winkeln tunlich zu verhindern. Für die beständige Mischung der Luft sorgte außerdem eine an der Decke angebrachte elektrisch betriebene Luftschraube, von 1,20 m Durchmesser.

ad 5. Zur Entnahme abgemessener Luftmengen aus dem Versuchsraume benutzte ich einen einfachen Tonnenaspirator, wie er als »Voitsche Eichvorrichtung für Gasuhren" zur Anwendung gelangt. Der Apparat besteht aus zwei gleichgroßen, oben und unten konisch zulaufenden, an den Spitzen mit Öffnungen versehenen Blechtonnen, die an ihrem unteren, mit Hähnen verschließbaren Öffnungen durch einen Gummischlauch miteinander in Verbindung stehen. Eine der Tonnen steht auf einem ca. 1,50 m hohem Gestell, die andere kann durch einen Flaschenzug oder durch verschieden hohe Untersätze gegen jene in der vertikalen Richtung verschoben werden. Wenn man die eine Tonne mit einer abgemessenen Menge Wasser füllt, und sie über die andere Tonne emporhebt, so strömt das Wasser durch den Gummischlauch in die unter Tonne hinüber und zieht dabei durch die obere Öffnung der leerlaufenden Tonne eine seinem Volumen entsprechende Luftmenge ein.

Ein solcher Aspirator (vgl. Fig. 1 A_1 A_2) wurde im Aufenthaltszimmer aufgestellt und mit 40 l Wasser beschickt. Als vertikalen Abstand zwischen den Horizontalebenen durch die Tonnenmittelpunkte wählte ich 117 cm. Dabei strömten die 40 l Wasser in 20 Minuten aus der oberen in die untere Tonne.

ad 6. Um aus den, mit Hilfe dieses Aspirators jeweils angesogenen 40 l Versuchszimmerluft, die in der Luft suspendierten Subtilissporen aufzufangen, bediente ich mich des von Ficker[1]) angegebenen, von Hahn[2]) vervollkommneten Luftfilters (vgl. Fig. 2). Es besteht aus einem 12 cm langen Glasrohr von 1,8 cm l. W., in das 4 cm von dem peripheren, vom Aspirator abgewandten Ende (p. E.) — bezogen auf die Ansaugungsvorrichtung — entfernt, ein zentralwärts gerichteter Glastrichter (T.) mit ca. 5 mm lichter Spitzen-

1) Ficker, „Methodik der bakteriologischen Luftuntersuchung", Zeitschr. f. Hygiene Bd. 22, S. 33 ff.

2) Hahn, „Bestimmung und meteorologische Verwertung der Keimzahl der oberen Luftschicht." Centralbl. f. Bakteriologie Orig. Bd. 51, S. 97.

weite eingeschmolzen ist. Durch diesen Trichter wird die Luft gezwungen, mit großer Geschwindigkeit in das Innere der Filtermasse (H. F.) einzuströmen. Die Mängel älterer „trichterloser" Formen, bei denen die Luft samt den in ihr suspendierten Keimen zum Teil zwischen der Filterröhrenwand und der körnigen Filtermasse unfiltriert hindurchgehen konnte, sind durch diese Konstruktion vermieden. Um ihre Zweckmäßigkeit noch zu vermehren, ist bei diesen Filtern der unmittelbar an den Trichter zentralwärts anschließende Röhrenabschnitt hohlkugelartig ausgeblasen — er zeigt hier eine lichte Weite von ca. 2,5 cm —. Dadurch wird der Röhrenquerschnitt stark erweitert und die wieder auf einen breiten Querschnitt gebrachte Luft in ihrer Strömung bedeutend verlangsamt. Es sind also die günstigsten Bedingungen für die Ablagerung der Luftkeime in diesem Filterabschnitt gegeben. Als Filtermasse verwendete ich nach H a h n s Vorschlag reine feine Quarzkörnchen[1]). Bei diesem Material erscheint, im Gegensatz zu der früher gebräuchlichen Glaskörnchenfüllung eine chemische, schädliche Einwirkung auf die aufgenommenen Luftkeime, während ihres Aufenthaltes im Filter und später bei der Aussaat, ausgeschlossen.

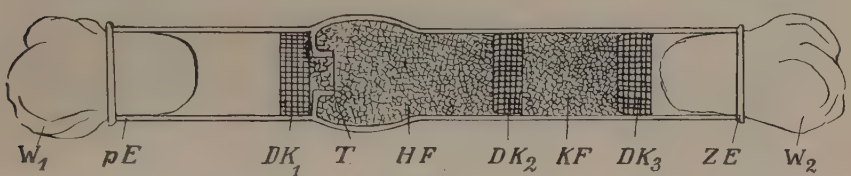


Fig. 2.

$W_{1\,2}$ Wattebäusche pE periphores Ende $DK_{1\,2\,3}$ Drahtkörbchen
T Trichter HF Hauptfilter KF Kontrollfilter ZE Zentrales Ende

Die Filter wurden vorschriftsmäßig gefüllt, und zwar sowohl das Hauptwie das Kontrollfilter (vgl. Fig. 2, H. F.; K. F.) entsprechend einer Schichtstärke von 2,5 cm mit 5 ccm bzw. 4 ccm der Quarzkörnchenmasse. Die so gefüllten Filter wurden mit Wattestopfen verschlossen und durch Erhitzung auf 160° drei Stunden lang sterilisiert. Bei den Versuchen wurden die Wattestopfen entfernt und das zentrale Filterröhrenende (Fig. 2 ZE) durch einen Kautschukstopfen mit eingefügtem Glasröhrchen an das Saugrohr des Aspirators angesetzt.

ad 7. Vor dem ersten und zwischen den folgenden Versuchen sollte eine Desinfektion des Fußbodens mit Chlorkalk vorgenommen werden, sowohl um alle zu Boden gesunkenen andersartigen Luftkeime vor der ersten Aufwirbelung abzutöten als auch, um bei den aufeinanderfolgenden Versuchen eine allzugroße Konzentration von Subtiliskeimen in der Luft zu vermeiden. Die zur Abtötung der Subtiliskeime ausreichende Lösung von Chlorkalk wurde durch einen Desinfektionsversuch ermittelt.

Von dem im Institut zu Desinfektionszwecken aufbewahrten Chlorkalkpulver wurden je 10 und 5 g abgewogen mit je 100 ccm Wasser aufgeschwemmt.

1) Quarzkörnchen für die Füllung des Fickerschen Luftfilters zu beziehen von Heraeus in Wetzlar.

Diese Aufschwemmungen enthielten 3,4% bzw. 1,7% aktiven Chlorkalks gelöst (nachgewiesen durch Titrierung mit Arsenigsäure). Für die Reduzierung dieser beiden Lösungen wurden zwei Natriumsulfitlösungen hergestellt, von denen je 1 ccm genügte, um einen ccm der entsprechenden Chlorkalklösung zu reduzieren. ($CaOCl_2 + Na_2SO_3 = CaCl_2 + Na_2SO_4$.) Nun wurden je ¼ g des Sporentalkumstaubes in je 10 cbcm der 3,4 proz. und der 1,7 proz. Chlorkalklösung aufgeschwemmt und deren desinfizierender Wirkung ausgesetzt. Nach 3, 10, 15, 20, 30, 45 und 60 Minuten wurden aus diesen Aufschwemmungen je 1 ccm herausgenommen und mit 1 ccm der entsprechenden Natriumsulfitlösung reduziert. Hierauf wurde die ganze Flüssigkeitsmenge jeweils zu ¾ (1½ cbcm) in Heuinfus, zu ¼ (½ cbcm) in Gelatine ausgesät und dann zwei Tage lang bei 220° C gehalten. Auf der ungleichen Verteilung des desinfizierten Sporentalkumschlammes auf die beiden Nährböden (wie 3: 1) beruht es, daß, wie die nachfolgende Tabelle zeigt — offenbar von vereinzelten widerstandsfähigen Sporen her —, im Heuinfus noch ein üppiges Wachstum des Bac. subtilis auftreten konnte, während auf den zugehörigen Gelatineplatten gar keine Kolonie mehr zur Entwicklung kam.

Wirkung von Chlorkalk auf Subtilissporen, die im Talkumstaub suspendiert sind.

Dauer der Einwirkung in Minuten	Prozentgehalt an $CaOCl_2$: 3,4%		Prozentgehalt an $CaOCl_2$: 1,7%	
	Es überlebten Subtilissporen, kulturell nachgewiesen in		Es überlebten Subtilissporen, kulturell nachgewiesen in	
	Heuinfus	Gelatine	Heuinfus	Gelatine
3	+	++	+	++
10	+	++	+	++
15	+	+	+	++
20	+	−	+	++
30	−	−	+	−
45	−	−	+	−
60	−	−	−	−

Es ergab sich also, daß erst die 3,4 proz. Chlorkalklösung, die durch Aufschwemmung von 10 Gewichtsteilen unseres „Chlorkalks“ in 100 Wasser gewonnen war, die Sporen in einer für die Zwecke der praktischen Desinfektion genügend kurzen Zeit (in ca. 20 Minuten) abtötete.

ad 8. Als Nährboden, in dem die aus der Versuchszimmerluft abfiltrierten Subtilissporen sich schnell und gut isoliert (d. h. gut zählbar!) entwickeln konnten, versuchte ich zuerst die von H a h n bei seinen Keimbestimmungen der freien Atmosphäre verwendete Gelatine. Es zeigte sich aber, daß bei der für diesen Nährboden vorgeschriebenen Temperatur von 22° C, sich stets sehr schnell, aus der Zimmerluft stammende Schimmelkolonien entwickelten, die dann nicht nur die Subtiliskolonien weit überwucherten und deren Entwicklung hemmten, sondern auch in ihrem Bereiche den Nährboden teils verflüssigten, teils undurchsichtig machten, so daß dort eine Zählung der

schon aufgegangenen Subtiliskulturen unmöglich wurde. Auch erwies sich gerade für die Subtiliskultur der Gelatinenährboden als wenig geeignet, da die oberflächlichen Subtiliskolonien oft schon in zwei bis drei Tagen weite Gebiete der Gelatine verflüssigt hatten und mit benachbarten Kolonien zu einer Einheit zusammenflossen, während die tieferen Kolonien viel langsamer wuchsen und überhaupt erst nach drei bis vier Tagen gut sichtbar wurden. Häufig mögen solche tieferen Kolonien in der Nähe der üppigen Oberflächenkolonien, durch deren Stoffwechselprodukte gehemmt, überhaupt nicht zur Entwicklung gekommen sein.

Die Schimmelplage versuchte ich zuerst mit dem glühenden Platindraht zu bekämpfen. Das bewährte sich aber nur bei ganz kleinen Kolonien. Größere spritzen bei der Annäherung des Thermokauters auseinander und übersäten dann den ganzen Nährboden mit ihren Sporen. Dagegen gelang es, auch größere Schimmelkulturen vollständig abzutöten, wenn ich sie mit ca. 1 cm langen, ½ cm weiten sterilen Glasröhrchen, die ich nach Art von Käseglocken über die Schimmelkulturen stülpte, ausstach und das dadurch erzeugte Loch mit konzentrierter Kaliumpermanganatlösung füllte. Auch die weitgehende Verflüssigung der Gelatine durch die oberflächlichen Subtiliskulturen konnte durch Aussaugung der verflüssigten Zone und durch Füllung der entstehenden Bodenvertiefung mit Kaliumpermanganat wirksam bekämpft werden. Aber sowohl die außerordentliche Mühsamkeit dieses Verfahrens — galt es doch bei jedem einzelnen meiner Versuche Hunderte von Schimmel- und Subtilisoberflächenkolonien „einzufangen" – als auch die langsame Entwicklung der „tiefen" Subtiliskolonien, die immer erst nach vier bis fünf Tagen sicht- und zählbar wurden, legte den Gedanken nahe, einen anderen Nährboden zu versuchen, der die Erwärmung auf 37° C ertrug und damit sowohl die praktische Beseitigung der an diese Temperatur nicht angepaßten Schimmel als auch eine wesentliche Beschleunigung des Wachstums auch der „tiefen" Subtiliskulturen ermöglichte. Und ein solcher Nährboden fand sich im Nähragar mit Zusatz von 1 % Gelatine, freilich erst nach Innehaltung bestimmter Vorsichtsmaßregeln. Die zugesetzte Gelatine soll nämlich das beim Erkalten an der Oberfläche des sich kontrahierenden Nähragars abgepreßte Wasser in sich aufsaugen. Sie tut das aber nur unvollkommen. Auch nach dem Zusatz von Gelatine bleibt die Nähragar-Oberfläche so feucht, daß ausgekeimte, bewegliche Subtilisbazillen sich schnell — in 12 Stunden — über den ganzen Nährboden verbreiten können und ihn mit einem dichten grauen Kulturschleier bedecken, so daß weder eine Isolierung einzelner oberflächlicher Wachstumszentren noch eine Zählung der tiefen Kolonien möglich ist. Da hilft nur eine oberflächliche Trocknung der Platten unmittelbar nach dem „Gießen". Es bewährte sich eine solche Trocknung mittels des früher erwähnten „Föhns", in dessen strömende 30° C warme Luft die Platten 20 Minuten lang gestellt wurden. Dasselbe Resultat wurde auch durch Einstellung der abgedeckten Platten in den Brütschrank von 37° während 12 Stunden erzielt. Dadurch gelang es, die Subtiliskeime gesondert zur Vermehrung zu bringen, und ein gleichmäßiges gegenseitig kaum gehemmtes Wachstum aller Kulturen im ganzen Nährboden zu ermöglichen. Auch die tiefen Kulturen

überschritten innerhalb 36 Stunden die Grenze der Sichtbarkeit, und so konnten alle ursprünglich im Nährboden suspendierten Keime gut gezählt werden.

Die ebenfalls im Nährboden suspendierten Quarzkörnchen, die von der Filterfüllung herstammten, wurden übrigens wegen ihrer Kostspieligkeit nach erfolgter Zählung durch Auswaschen mit heißem Wasser über einem feinen Haarsieb für weitere Versuche wiedergewonnen.

Nachdem so alle Vorarbeiten erledigt waren, konnte mit den eigentlichen Versuchen begonnen werden. Ich hielt mich zunächst an den zu Beginn dieser Arbeit vorgezeichneten Plan. Der Boden des Versuchszimmers wurde 20 Minuten lang mit der 10 proz. Aufschwemmung unseres Chlorkalks (die 3,4% aktiven $CaOCl_2$ enthielt) bedeckt und danach der Trocknung überlassen. Nach zwei Tagen, während deren die Fenster und Türen des desinfizierten Zimmers geschlossen blieben, war infolge der natürlichen Ventilation jede Spur von Chlorgeruch aus dem Zimmer verschwunden. Nun wurde zunächst versuchsweise 1,5 g meines Sporentalkumstaubes — sein zahlenmäßiger Gehalt an Subtilissporen war ja noch unbekannt — in das zur Sporenaufwirbelung bestimmte Spitzglas eingebracht. Dann wurde das Versuchszimmer dunkel gemacht und für die weitere Dauer des Versuchs dunkel gehalten. Vom Aufenthaltszimmer aus wurde die an der Decke des Versuchszimmers befindliche Luftschraube und das Gebläsewerk in Betrieb gesetzt. Gleichzeitig wurde das Spitzglas mit der an seiner Spitze befestigten Schüttelstange (Vgl. S. 5, Fig. 1) — sie ging durch ein Loch in der Verbindungstür zwischen dem Versuchs- und Aufenthaltszimmer — stoßweise erschüttert. Der Luftstrom aus dem Blasrohr blies in den Sporentalkumstaub. Dieser erhob sich zu einem Teil wolkenartig aus dem Spitzglas in das Zimmer und wurde dann vom Luftstrom des Flügelrades gegen die Decke emporgehoben, zum anderen Teil fing sich der Staub wieder an den Wänden des Spitzglases und fiel durch dessen Erschütterungen wieder in die Spitze und vor das Blasrohr hinab. In etwa ½ Minuten war die ganze Staubmasse in die Zimmerluft befördert und wurde hier durch das Flügelrad und durch die Blasrohre des Gebläsewerks in Umlauf erhalten.

Nach zwei Stunden machte ich die erste Luftentnahme. Ein vorschriftsmäßig geladenes und sterilisiertes Ficker-Hahnsches Luftfilter wurde durch ein großes Reagenzglas geschützt an einem langen Glasrohr befestigt, durch eine Öffnung in der Verbindungstür bis zur Mitte des Versuchszimmers hineingeschoben. Das zentrale Ende des Glasrohrs wurde im Aufenthaltsraume mit dem Aspiratorschlauche verbunden, der Aspirator wurde in Betrieb gesetzt und in 20 Minuten 40 l Luft aus der Mitte des Versuchszimmers durch den Quarzkörnchenfilter hindurchgesogen. Das Filter wurde nun „geschützt" in den Aufenthaltsraum zurückgezogen. Hier wurde es wieder mit den zuvor abgeflammten Wattestopfen verschlossen. Auf dieselbe Weise wurden die Sporen von 40 l Luft, 3½ und 5 Stunden nach der Sporenaufwirbelung, aufgefangen und zur weiteren Verarbeitung ins Hygienische Institut befördert. Dort wurden die Wattestopfen entfernt, die Filterröhrchen äußerlich abgeflammt und der Inhalt der Kontrollfilter in je eine, der Inhalt des Hauptfilters in je vier große Drygalski schalen ausgeschüttet. Bei diesem Ausschütten, bei dem naturgemäß der Deckel der Drygalski schalen ziemlich weit gelüftet werden mußte, war es nicht zu vermeiden, daß sich Sporenstaub von den Quarzkörnchen wieder ablöste, aus dem Bezirke der Schalen herausflog, und so später der Zählung entging. Ich beobachtete das, als einmal ein Sonnenstrahl die Stäubchen in der Luft zum Aufleuchten brachte. Dieser Fehler wurde durch vorsichtiges langsames Ausschütten möglichst eingeschränkt.

Nach etwa 10 Minuten, in denen alle abgelösten und im Luftraume der Schalen schwebenden Keime sich auf deren Boden gelagert haben konnten, wurde dann der verflüssigte Nähragar über die Filtermasse ausgegossen, und zwar auf jede Platte 50 ccm. Der Nähragar war nach der Verflüssigung nur auf 50° — eine für die Subtilissporen unschädliche Temperatur — abgekühlt worden und ertrug so, ohne zu erstarren, länger dauernde, durch vorsichtiges Schwenken erzeugte Vermischung mit der Filtermasse und den darin enthaltenen Subtilissporen. Erst wenn es dadurch gelungen war, die Quarzkörnchen samt den

Subtilissporen im Nährboden gleichmäßig zu verteilen, und nachdem auch alle Luftbläschen, die zu Beginn dieses Verfahrens immer reichlich an den Quarzkörnchen auftraten, durch eine künstliche „Brandung" zum Zerplatzen gebracht waren, wurden die Platten auf einen gut ausnivellierten Kühlkasten gesetzt und der Agar-Agar zur Erstarrung gebracht. Die auf diese Weise mit den Inhalt von drei Ficker-Hahnschen Filtern gefüllten 15 Platten wurden nun 20 Minuten lang im Föhn bei 30° getrocknet und in den Brütschrank von 37° gebracht. Nach 36 Stunden waren alle Keime zu gut sicht- und zählbaren Kolonien ausgewachsen. Die oberflächlichen Kolonien schwankten in ihrem Durchmesser, je nach der Entfernung von den nächstbenachbarten Kolonien, zwischen der Größe einer Linse und der eines Stecknadelknopfes. Die „tiefen" erreichten im Durchschnitt die Größe eines Senfkornes. Bei der Zählung, die in der Weise vorgenommen wurde, daß jede einzelne Kolonie für sich gezählt und je 5 Kolonien durch einen feinen Ölkreidestrich an der Außenseite der Kulturschichtplatte markiert wurden[1]), ergab sich bei der ersten Versuchsreihe das in der folgenden Tabelle aufgezeichnete Resultat.

Tabelle I.

Erste Versuchsreihe ohne Gasbeleuchtung am 26. Juli 1913.

In 40 l Luft war nach der Aufwirbelung	folgende Anzahl von Sporen (entsprechend den aus dem ganzen Luftfilter gewonnenen Kulturen) enthalten	davon im Kontrollfilter in absoluter Zahl	In Prozentzahl (die ganze Sporenmenge der betreffenden Filterfüllung = 100 gesetzt)
2 Std.	18 211	560	3%
3½ „	10 891	254	2 »
5 „	7 365	185	3 »

Aus den gewonnenen Zahlen ging vor allem hervor, daß trotz der Luftschraube und des Gebläsewerkes bis zur fünften Stunde nach der Sporenaufwirbelung, ein unterbrochenes Absinken der Sporenzahl in der Mengeneinheit Luft stattfand. Und zwar er-

1) Von einer Zählung einzelner Sektoren der Platte und rechnerischer Ermittelung der Keimzahl wurde bei allen Versuchen abgesehen, da selbst bei möglichst gründlicher Michung — dieser waren durch die Abkühlung und Erstarrung des Agars Grenzen gesetzt — noch immer verhältnismäßig große Unterschiede der Sporenzahl in den einzelnen Sektoren festgestellt wurden.

folgte dieses Absinken in einer Kurve, die zu Anfang am steilsten war und allmählich flacher wurde. Es bestand die Möglichkeit, daß diese Kurve bald in eine Horizontale übergehen könnte, bei der dann gleichbleibende Sporenzahlen in der Mengeneinheitluft in den aufeinanderfolgenden Zeiten gefunden würden. Darum wurde der folgende Versuch — nach entsprechender Desinfektion des Versuchszimmers — so angestellt, daß die erste Luftentnahme erst 4 Stunden nach der Aufwirbelung vorgenommen wurde und dann in jeder weiteren Stunde bis zur neunten Stunde. Folgendes war das Ergebnis:

Tabelle II.

Zweite Versuchsreihe ohne Gasbeleuchtung vom 1. August 1913.

In 40 l Luft war nach der Aufwirbelung	folgende Anzahl von Sporen (entsprechend den aus dem ganzen Luftfilter gewonnenen Kulturen) enthalten	Davon im Kontrollfilter in absoluter Zahl	In Prozentzahl (die ganze Sporenmenge der betreffenden Filterfüllung = 100 gesetzt)
4 Std.	9742	981	10%
5 „	9316	207	2%
6 „	7013	186	3%
7 „	5102	117	2%
8 „	4658	303	7%
9 „	2914	143	5%

Die beiden ersten Zahlen (von der 4. und 5. Stunde nach der Sporenaufwirbelung) schienen allerdings die Vermutung zu stützen, daß die Zahlenkurve in eine Horizontale überginge. Die weiteren Zahlen aber ließen keinen Zweifel darüber, daß die Kurve immer weiter absänke und wohl nach einigen Stunden den Nullpunkt erreicht haben würde. Außerdem zeigte sich noch, daß die Sporenzahl ungleichmäßig sank. Setzen wir nämlich die absolute Sporenzahl der 4. Stunde gleich 100 und drücken die Zahl der 5. Stunde in Prozenten dieser Zahl aus, so bekommen wir für die 5. Stunde 94,6%. Die Zahl der 6. Stunde in Prozenten derer der 5. ergibt: 75,3% und entsprechend berechnet finden wir für die 7., 8. und 9. Stunde: 72,8%, 91,3%, 62,2%.

Beide Erscheinungen stehen im Gegensatz zu dem gewünschten Resultat. Die Zahl der Sporen sank und noch dazu ungleichmäßig!

Wenn es nun auch schließlich gleichgültig war, ob bei den Versuchen „mit“ und „ohne“ Gas — bildlich gesprochen — Konzentrationshorizontalen miteinander bzw. mit Konzentrationskurven oder Konzentrationskurven miteinander verglichen würden, schienen die ungleichmäßigen Schwankungen des Abfalls der Sporenkonzentrationskurve auf vermeidbare Fehlerquellen hinzuweisen.

Zuerst glaubte ich, daß für diese Schwankungen eine relative Undichtigkeit des Luftfilters verantwortlich gemacht werden müsse. In den Tabellen der beiden ersten Versuche, Tab. I und II, sowie auf den Tab. III und IV, Säule 5 (S. 20 und 22), habe ich angegeben, wieviele Sporen jeweils kulturell nachweisbar aus dem Kontrollfilter gewonnen werden konnten, und ferner in Säule 6, wieviel Prozent von allen, im ganzen Luftfilter aufgefangenen Sporen, das ausmachte. Man sieht, daß diese Prozentzahl stellenweise sehr hoch war, 5, 7, ja bis zu 14%. Sicher lag da — wohl unter dem Einfluß der Erwärmung und Ausdehnung des Filters, bei der Sterilisation im Heißluftschrank eine Undichtigkeit des Hauptfilters und möglicherweise auch eine solche des Kontrollfilters vor. Ich habe in den folgenden Versuchen (nach dem 13. August) die Filter unmittelbar vor jeder Luftentnahme noch einmal dicht geschüttelt und mit einem abgeflammten Eisenstempel festgepreßt. Ferner habe ich die Gesamtschichtdicke des Hauptfilters, gegenüber der Fickerschen Anforderung von 2,5 bis 2,75 cm, entsprechend 5 ccm Quarzkörnchenmasse, durch Einfüllung von 9 ccm Quarzkörnchenmasse noch wesentlich erhöht; und endlich wurde durch Einschaltung von Bodensatzschichten meines Quarzkörnchenvorrates, also feinen Quarzstaub, die Filterwirkung beträchtlich gesteigert. Es zeigte sich aber, daß die Sporenzahlen im Kontrollfilter zwar auf 5%, ja 1% und darunter sanken, daß die Schwankungen des Konzentrationsabfalls aber annähernd dieselben blieben (Tafel III und IV, Säule 2 und 6). Nachträglich erkannte ich auch, daß größere Sporenzahlen im Kontrollfilter und eine daraus geschlossene relative Filterundichtigkeit deswegen mit Sicherheit nicht für die Schwankungen beim Abfall der Sporenzahlen verantwortlich zu machen sind, weil,

wenn z. B. viele Sporen im Kontrollfilter gefunden wurden, stets ein entsprechender Ausschlag hätte in Erscheinung treten müssen. Das ist aber, wie ein Vergleich der Säulen 2 und 6 auf den Tab. III und IV zeigt, nicht der Fall! Vielmehr finden wir z. B. beim dritten Versuche ohne Gas, bei 8% Sporen im Kontrollfilter anstatt der zu erwartenden Verminderung eine Vermehrung des Sporenabfalls um 9% und umgekehrt z. B. beim 5. Versuche, bei nur 2% Sporen im Kontrollfilter sogar eine Vermehrung des Sporenabfalls: um 17%. Daraus geht unwiderleglich hervor, daß für die Kurvenschwankung nicht Filterundichtigkeiten, sondern tatsächlich Sporenkonzentrationsschwankungen in den aufeinanderfolgenden Zeiten verantwortlich zu machen sind.

Es handelt sich offenbar um eine ungleichmäßige Verteilung der Sporen in den verschiedenen Luftmengeneinheiten des Versuchszimmers, und es erhob sich die Frage, ob diese nicht durch stärkere Luftbeweger verhindert werden könnte. Zur Beantwortung dieser Frage möchte ich etwas näher auf die Wirkungsweise der vorhandenen Luftbeweger eingehen:

Nachdem die Sporen aus dem Spitzglase aufgewirbelt waren, erhoben sie sich, wie erwähnt, wolkenartig in die Luft und gelangten in die Saugsphäre des Flügelrades an der Decke. Ein solches Flügelrad verursacht eine Zirkulationsströmung um einen durch die Flügelspitzen beschriebenen Kreis als Achse. Dabei rotieren die Luftmassen in der Nähe jener Achse, also an den Flügelspitzen am langsamsten und zunehmend schneller, je weiter sie davon entfernt sind. Die größte Geschwindigkeit wird in der Gegend der Achse des Flügelrades und an den entsprechend weit von den Flügelspitzen entfernten Punkten des Raumes beobachtet. Durch die Zirkulationsströmung könnten die Sporen entweder gegen die Decke geschleudert werden und hier unmittelbar über dem Flügelrade haften bleiben, oder, je nachdem sie mehr in den inneren — d. h. näher den Schraubenflügelspitzen — oder äußeren Schichten der Zirkulationsströmung stecken, langsamer oder schneller durch Zentrifugalwirkung in den umgebenden „toten" Raum hinausgeschleudert werden. Wir sehen also durch die zentrifugale Schleuderwirkung am Flügelrade eine Sporenent-

mischung der Luft eintreten und in seinem Strömungsgebiete dadurch bedingt eine gleichmäßige Abnahme der Sporenzahl gegen die Peripherie zu. Daß diese Entmischung durch eine Verstärkung des Flügelrades nicht vermindert, eher vermehrt worden wäre, liegt auf der Hand.

Die so abgeschleuderten Sporen gelangten, wie erwähnt, in den „toten" Raum und konnten hier, durch keine Luftströmung daran gehindert, solange bodenwärts sinken, bis sie in das Strömungsgebiet des Gebläsewerkes gelangten. Denn auch das Gebläsewerk verursacht eine Zirkulationsströmung, allerdings von sehr viel geringerer Geschwindigkeit wie das Flügelrad. Die Strömung verläuft teils innerhalb der Blasebälge und Blasröhren, teils zwischen den als Gesänken wirkenden Saugöffnungen des Blasebalges und den als Quellen wirkenden Blasrohröffnungen. Von dieser Zirkulationsströmung wurden die Sporen nun aufs neue erfaßt — sie wurden also aufs neue den Luftmassen beigemischt! — und waren nun bei ihrem weiteren Umlaufe zwar nicht der Einwirkung der Zentrifugalwirkung, aber infolge der langsamen Strömung und der Möglichkeit, verhältnismäßig leicht in den benachbarten toten Raum hinabzusinken, wiederum der sedimentierenden Wirkung der Schwerkraft ausgesetzt. Hier fand mithin aufs neue eine Entmischung der Luft an Sporen statt.

Wir sehen also in den beiden Strömungsgebieten und den benachbarten toten Räumen einen Wechsel von Mischung und Entmischung des Luftsporengemenges eintreten, der in seinem Endeffekt auf eine allmähliche, mit Sedimentierung der Sporen verbundene Entmischung der Luft hinausläuft. Sobald sich zwischen den beiden Strömungssystemen ein Gleichgewicht herausgestellt hat, müssen diese Mischungs- und Entmischungsvorgänge stets an denselben Punkten des Raumes stattfinden. Wir dürften also an ein- und demselben Punkte immer nur eine gleichmäßige Abnahme der Sporenkonzentration, aber nicht die von uns beobachteten starken Schwankungen antreffen. Diese Schwankungen können offenbar nur darauf beruhen, daß die beiden Strömungssysteme nicht im

Gleichgewichte sich befanden, bzw. nicht ungestört blieben, und daß die beiden Strömungsgebiete während der Versuche ihre Grenzen mehrfach verschoben haben. Und in der Tat lag in der Versuchsanordnung selbst mindestens eine Möglichkeit zu solcher Gleichgewichtsstörung vor: Die durch „Straßenstrom" betriebenen Elektromotoren der Luftbeweger arbeiteten jedenfalls ungleichmäßig. Dagegen haben die bei den verschiedenen Versuchen wechselnden Verhältnisse der natürlichen Ventilation bei ihrer äußerst geringen Luftbewegung (vgl. S. 27) kaum eine nennenswerte Einwirkung hervorgerufen.

Stellen wir uns nun vor, das Luftfilter, das ja stets an demselben Punkte in der Mitte des Versuchszimmers aufgestellt wurde (vgl. Fig. 1 *F*), taucht zuerst in die peripheren sporenärmeren Schichten des Flügelradzirkulationsstromes, dann in die oberen Schichten des vielleicht sporenreicheren Gebläsewerk-Zirkulationsstromes, ein drittes Mal in den toten Raum zwischen beiden Strömungssystemen, so wird uns verständlich, warum die erwähnten Schwankungen im Abfall der Sporenkonzentrationskurve auftreten mußten. Wir erkennen auch, daß diese Schwankungen nicht beseitigt werden können. Jedenfalls kann man sie durch Verstärkung der Luftbeweger durchaus nicht beeinflussen.

Daß tatsächlich bei Verwendung stärkerer Luftmotore keine Verbesserung im Sinne einer gleichmäßigeren Verteilung der Keime in der Zimmerluft stattfindet, beweisen übrigens die mit Gasbeleuchtung ausgeführten späteren Versuche, bei denen doch in den drei großen Beleuchtungskörpern starke neue Luftbeweger gegeben sind. Vgl. Tab. IV und Text S. 23.

Aber, wenn so diese Schwankungen nicht vermieden werden können, so werden sie doch um eine „mittlere Lage" erfolgen und aus einer größeren Reihe von Beobachtungen werden wir Mittelwerte für das Absinken der Sporenkonzentration — einerseits bei gleichzeitiger Gasbeleuchtung, anderseits ohne Gasbeleuchtung — gewinnen können. Ein Vergleich solcher Mittelwerte wird uns dann ohne weiteres Aufschluß über eine etwaige desinfektorische Wirkung des Gaslichtes geben.

Aus diesem Grunde wurden die Versuche mit veränderter Zielsetzung fortgesetzt:

Hinfort soll untersucht werden, wie der nach der Aufwirbelung der Sporen im Versuchszimmer in je 40 Litern Luft enthaltene Sporengehalt in den Zeiteinheiten einerseits „mit“ anderseits „ohne“ Gasbeleuchtung im Mittel abnimmt.

Bei den weiteren Versuchsreihen wurde in der Versuchsanordnung gegenüber den ersten beiden Versuchen folgendes geändert:

1. Das Zimmer wurde nicht mehr vor jedem Versuche desinfiziert, da sich herausstellte, daß auch ohne Desinfektion keine Verunreinigung der aus dem Luftfilter gewonnenen Subtiliskulturen und auch keine störende Erhöhung der Sporenkonzentration in den aufeinanderfolgenden Versuchen stattfand. Diese letztere Erscheinung findet ihre Erklärung wohl hauptsächlich darin, daß die Sporen während jedes Versuches an solchen Punkten des Zimmers am Boden wie auch an der Zimmerdecke, vgl. S. 28ff., abgelagert wurden, an denen sie für immer dem Wirkungsbereiche der Luftbeweger entzogen waren. Das Weglassen der jedesmaligen Desinfektion, das also ohne Schädigung des Versuchsablaufes stattfinden konnte, empfahl sich besonders wegen der scharfen Ätzwirkung des Chlorkalkes auf die Hände und Atmungswerkzeuge des Desinfektors und wegen des großen Zeitaufwandes, den die Desinfektion selbst, und die Beseitigung des Chlorgeruches mittels natürlicher Ventilation aus dem geschlossenen Raume erforderten.

2. Hinfort wurde der aufzuwirbelnde Sporentalkumstaub nicht mehr exakt abgewogen, sondern annähernd räumlich abgemessen, da es für die Beurteilung des verhältnismäßigen Abfalles der Sporenzahl bedeutungslos erschien, wie groß die absoluten Anfangszahlen waren (z. B. ist das Verhältnis 8 : 4 dasselbe wie 4 : 2, wie 2 : 1; die absoluten Anfangszahlen, ob 8, 4 oder 2 sind für den Verhältniswert als solchen ohne Belang).

Die Versuchsreihen »ohne« Gas.

Die folgende Tabelle (Tab. III) zeigt uns fünf Versuchsreihen mit 22 Einzelversuchen „ohne Gas". Dabei ist das schon auf Tab. II aufgezeichnete Versuchsergebnis mit berücksichtigt worden. Die Versuchsanordnung deckt sich mit der beim zweiten Versuch geschilderten.

In der Säule 1 der Tab. III sind bei der vierten Versuchsreihe die vorletzte absolute Sporenzahl und bei der fünften Versuchsreihe die vorletzte und drittvorletzte absolute Sporenzahl eingeklammert. Diese Zahlen sind durch Berechnung aus den nächstbenachbarten absoluten Sporenzahlen unter der Voraussetzung gewonnen, daß der Konzentrationsabfall ein gleichmäßiger ist, d. h. daß z. B. im Falle der 4. Versuchsreihe die Sporenzahl, die eine Stunde vor der fraglichen Zeit festgestellt wurde, sich zu der fraglichen Zahl verhält wie diese zu der nächst kleineren, die eine Stunde später gewonnen wurde. Es verhält sich also:

$$7530 : x = x : 4298, \quad x = \sqrt{7530 \cdot 4298} = 5689.$$

Diese Methode ist ohne Zweifel nach den vorausgegangenen theoretischen Überlegungen im Prinzip berechtigt. Die gewonnene Zahl stellt freilich bei den stets beobachteten Abweichungen einen „ideellen" Wert dar; aber der mit Hilfe dieser Zahl zu gewinnende Wert für den Sporenkonzentrationsabfall innerhalb einer Stunde darf ohne Gefahr mit den aus den anderen Versuchen gewonnenen Abfallswerten zusammen zur Ermittelung des tatsächlichen „mittleren" Sporenabfalles in einer Stunde verwendet werden. Die in der Säule 2 angegebenen Werte für den Abfall der absoluten Sporenzahl im Verlauf der zwei in Frage kommenden Stunden beweisen, daß unsere obige Rechnung richtig ausgeführt wurde. Es verhält sich nämlich $7530 : 5689 = 100 : x$, daraus ergibt sich $x = 75{,}5\,\%$. Ferner verhält sich $5689 : 4298 = 100 : x$; wieder finden wir für $x = 75{,}5\,\%$. Auf dieselbe Weise wurden die beiden fehlenden absoluten Zahlen des 5. Versuches ergänzt und die ihnen entsprechenden Werte für den Abfall der Sporenkonzentration berechnet.

Tabelle III.

Die Verminderung des Keimgehalts der Luft durch Sedimentation ohne Gasbeleuchtung.

In je 40 l Luft, die entnommen worden nach der Sporenaufwirbelung	Waren kulturell nachweisbar aus dem Haupt- und Kontrollfilter stammend in absoluter Zahl Sporen enthalten	Wenn die absolute Sporenzahl zu Beginn jeder Std. = 100 gesetzt wird, so sinkt die absolute Sporenzahl bis zum Ende der Stunde um %	In den einzelnen Versuchsreihen sinkt die Sporenzahl im Mittel aus den entsprechenden Einzelversuchen berechnet — in jeder Std. um %	Aus allen Einzelversuchen berechnet ergibt sich pro pro Stunde ein mittlerer Abfall der Sporenzahl um %	Von allen Sporen entstammten in absoluten Zahlen dem Kontrollfilter	In % aller aufgefangenen Sporen waren das
	1	2	3	4	5	6
2. Versuchsreihe vom 1. August 1913.						
4 Std.	9 742	5,4%			981	10%
5 »	9 316	24,7 »			207	2 »
6 »	7 012	27,2 »			186	3 »
7 »	5 102	8,7 »	20,7%		117	2 »
8 »	4 658	37,4 »			303	7 »
9 »	2 914	—			143	5 »
3. Versuchsreihe vom 13. August 1913.						
4 Std.	12 516	34,7%			1062	8 »
5 »	8 179	10,4 »			475	6 »
6 »	7 325	20,7 »			144	2 »
7 »	5 804	16,1 »	22,4%		193	3 »
8 »	4 870	30,2 »			123	3 »
9 »	3 401	—			107	3 »
4. Versuchsreihe vom 1. September 1913.				24%		
4 Std.	14 658	21,3%			648	4 »
5 »	11 536	26,0 »			436	4 »
6 »	8 428	10,6 »			424	5 »
7 »	(7 530)	24,5 »	21,6%		395	5 »
8 »	4 298	24,5 »			—	—
9 »	—	—			135	3 »
5. Versuchsreihe vom 11. September 1913.						
4 Std.	15 788	42,6%			280	2 »
5 »	9 063	18,5 »			96	1 »
6 »	7 388	43,4 »			97	1 »
7 »	4 182	10,2 »			145	3 »
8 »	(3 756)	10,2 »	29,4%		51	—
9 »	3 372	40,3 »			37	2 »
10 »	(2 016)	40,3 »			5	—
11 »	1 204	—			—	3 »
24 »	189	—			—	3 »

Es fällt nun auf, daß der in der Säule 3 der Tabelle III wiedergegebene mittlere Wert des Sporenabfalls der fünften Versuchsreihe erheblich größer ist als der der zweiten, dritten und vierten Reihe. Ein Blick auf die Säule 2 beweist, daß hier mehrfach ein stärkeres Absinken der Sporenzahl stattfindet, wie es in den übrigen Versuchsreihen nur annähernd und selten — z. B. am Ende der zweiten und zu Beginn der dritten Versuchsreihe — in Erscheinung tritt. Ich glaube, daß es sich hier nur um eine zufällige Summation etwas größerer einseitiger Abweichungen vom mittleren Werte handelt, die bei einer längeren Versuchsreihe durch entgegengesetzte Abweichungen wieder ausgeglichen worden wären. Es treten ja in dieser Reihe den vier großen Zahlen bereits drei kleine gegenüber.

Innerhalb aller Versuchsreihen finden wir von den daraus berechneten Mittelwerten größere Abweichungen: z. B. in der zweiten zwischen plus 17 und minus 15%, in der dritten zwischen plus 12 und minus 12%, in der vierten zwischen plus 5 und minus 11% und in der fünften Versuchsreihe zwischen plus 14 und minus 19% (würden wir einmal annehmen, daß auch dieser Versuchsreihe eigentlich ein mittlerer Wert von 21% zukäme, so hätten wir eine Abweichung von etwa plus 22 minus 12%).

Leicht können natürlich einzelne größere Abweichungen den mittleren Wert einer kleinen Zahl von Einzelversuchen ganz erheblich herab oder heraufsetzen! Darum ist auch auf diese Mittelwertsbestimmungen kein besonderes Gewicht zu legen. Dagegen ist die Zahl der vierten Säule, die aus sämtlichen Einzelversuchen — nicht aus den Mittelwerten der einzelnen Versuchsreihen — berechnet wurde, wohl als annähernd richtiger Mittelwert für den Abfall der Sporenkonzentration innerhalb einer Stunde „ohne Gas“ anzusprechen.

Die Versuche mit Gas.

Auf der Tabelle IV sind vier Versuchsreihen „mit Gas“ mit 14 Einzelversuchen dargestellt. Die Gasbeleuchtung wurde bei diesen Versuchen mittels Fernzündung (vgl. S. 5) bei den Versuchen 1 und 2 zwischen der 4. und 5. Stunde nach der Sporenaufwirbelung, bei den Versuchen 3 und 4 zwischen der 5. und

V. **Tabelle I**

Die Verminderung des Keimgehalts der Luft durch Sedimentation und Gasbeleuchtung.

	In je 40 l Luft, die entnommen worden nach der Sporenaufwirbelung	Waren kulturell nachweisbar, aus dem Haupt- und Kontrollfilter stammend in absoluter Zahl Sporen enthalten	Wenn die absolute Sporenzahl zu Beginn jeder Std. gleich 100 gesetzt wird, so sinkt die absolute Sporenzahl bis zum Ende der Stunde um %	In den einzelnen Versuchsreihen sinkt die Sporenzahl im Mittel — aus den entsprechenden Einzelversuchen berechnet — in jeder Stunde um %	Aus allen Einzelversuchen berechnet ergibt sich pro Stunde ein mittlerer Abfall der Sporenzahl um %	Von allen Sporen entstammten in absoluten Zahlen dem Kontrollfilter	In % aller aufgefangenen Sporen waren das
		1	2	3	4	5	6
	1. Versuchsreihe vom 5. August 1913						
Gas	4 Std.	3 532	—			500	14%
Gas	5 »	2 412	36,1%			150	6 »
Gas	6 »	1 547	48,4 »			196	13 »
Gas	7 »	798	23,6 »	38%		71	9 »
Gas	8 »	610	44,0 »			15	3 »
Gas	9 »	342	—			21	6 »
	2. Versuchsreihe vom 15. August 1913.						
Gas	3 Std.	9 982	—			130	1 »
Gas	4 »	5 219	—			—	—
Gas	5 »	3 549	52,9%			27	0 »
Gas	6 »	1 673	43,1 »			26	1 »
Gas	7 »	953	51,7 »	51,7%		6	0 »
Gas	8 »	461	59,0 »			5	1 »
Gas	9 »	189	—			6	2 »
	3. Versuch vom 27. August 1913				40%		
Gas	4 Std.	14 747	—			203	1 »
Gas	5	11 005	—			312	3 »
Gas	6 »	4 752	8,5%			10	0 »
Gas	7 »	4 348	48,4 »			28	1 »
Gas	8 »	2 225	44,6 »	33,8%		3	0 »
Gas	9 »	1 232	—			12	1 »
	4. Versuch vom 5. September 1913.						
Gas	4 Std.	14 768	—			390	3 »
Gas	5 »	—	—			380	5 »
Gas	6 »	7 374	57,8%			120	2 »
Gas	7 »	3 113	27,8 »			108	3 »
Gas	8 »	2 248	9,2 »	31,6%		10	0 »
Gas	9 »	2 042	—			32	2 »

6. Stunde angesteckt. In der Tabelle ist dies durch kräftige Horizontalen angedeutet. Für die Gewinnung des mittleren Wertes des Sporenabfalls in der Zeiteinheit bei der Gasbeleuchtung konnten natürlich nur die absoluten Sporenzahlen benutzt werden, die nach der Entzündung der Gasbeleuchtung ermittelt wurden: beim 1. und 2. Versuch von der fünften Stunde ab, beim 3. und 4. von der sechsten Stunde ab.

Nachdem über die Ermittelung der entsprechenden Werte aus den Versuchen „ohne Gas" Gesagten erscheint die Gewinnung des Mittelwertes aus den Versuchen „mit Gas" (siehe Tabelle 4, Säule 4) ohne weiteres verständlich.

Es zeigt sich bei der Betrachtung der Säule 2 der Tabelle 4, daß auch bei Gasbeleuchtung die Abweichungen der aus den Einzelversuchen gewonnenen Werte von den aus den Versuchsreihen berechneten Mittelwerten beträchtlich sind:

In der ersten Versuchsreihe finden wir solche von zwischen -14 und $+11\%$, in der zweiten von zwischen $+7$ und -9%, in der dritten von zwischen -25 und $+15\%$ und in der vierten von -22 und $+26\%$. Jedenfalls findet eine bessere Durchmischung der Luft mit Sporen durch Verstärkung der Luftbeweger offensichtlich nicht statt, denn unzweifelhaft beschleunigen die drei großen Graetzinbrenner den Luftumlauf im Versuchszimmer ganz beträchtlich! Aber sie schaffen dadurch offenbar nur neue Strömungssysteme mit neuen toten Räumen zwischen sich und den anderen Strömungssystemen; und diese neuen Strömungssysteme zeigen — indem sich in ihnen durch die Verbrennung von Sporen eine gleichmäßige Sporenentmischung abspielt — wieder eine andere Sporenkonzentration als die bereits früher beschriebenen Strömungssysteme und toten Räume.

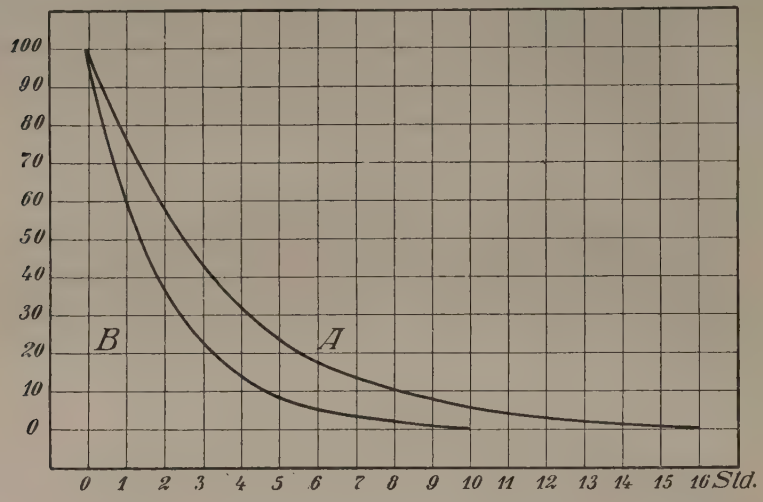
Resultat der Versuche »ohne« und »mit« Gas.

Das in den Tabellen 3 und 4 aufgezeichnete Resultat ist nun folgendes:

Von 100 Sporen, die zu Beginn einer Stunde in der Mengeneinheit unseres Versuchszimmers enthalten waren, waren am Schlusse der ersten Stunde (ohne Gasbeleuchtung) noch (100%

Kurve I.

Von 100 Subtilissporen, die zu Beginn der Versuchszeit in der Luft schwebten, wurden in den folgenden Stunden — *A*, wenn kein Gas brannte, *B*. wenn Gas brannte — schwebend angetroffen.



— 24%) 76% Sporen in der Mengeneinheit Luft nachweisbar, am Ende der zweiten Stunde entsprechend noch 76% von 76 Sporen, am Ende der dritten Stunde 76% von 76% von 76% Sporen usw. Führt man diese Berechnungen aus, so ergibt sich aus den Versuchen ohne Gasbeleuchtung, daß von 100 Sporen zu Beginn nach einer Stunde noch 76, nach 2 Stunden 58, nach 3 Stunden 44, nach 4 Stunden 33, nach 5 Stunden 24, nach 6 Stunden 18, nach 7 Stunden 14, nach 8 Stunden 11, nach 9 Stunden 8, nach 10 Stunden 6, nach 11 Stunden 5, nach 12 Stunden 3, nach 13 Stunden 2, nach 14 Stunden 2, nach 15 Stunden 1 und darnach keine Spore mehr enthalten war. Ebenso berechnet ergibt sich bei Gasbeleuchtung eine Abnahme der Sporenzahl von 100 auf 60, auf 37, auf 22, auf 14, auf 8, auf 5, auf 4, auf 2, auf 1 in den aufeinanderfolgenden Stunden. Wir werden also von 100 Sporen „ohne“ Gasbeleuchtung erst nach 16 Stunden praktisch keine Sporen mehr in der Luft antreffen, während wir „mit“ Gasbeleuchtung schon nach 10 Stunden keine mehr schwebend finden. Auf Grund dieses Ergebnisses können wir eine ideale mittlere Sporenkonzentrationskurve zeichnen (Kurve I).

Bedeutung des Resultates?

Wir sahen, daß bei den Versuchen ohne Gasbeleuchtung, durch Sedimentation bedingt, innerhalb einer Stunde ein Sinken der absoluten Sporenzahl in der Mengeneinheit Luft um je 24% der absoluten Zahl zu Beginn der betreffenden Stunde eintrat, während bei den Versuchen mit Gasbeleuchtung unter sonst gleichen Bedingungen ein Sinken um 40% beobachtet wurde.

Wirkung vermehrter Ventilation?

Es erhebt sich nun die Frage, ob dieses um 16% vermehrte Sinken der Sporenzahl bei der Gasbeleuchtung auf eine Verbrennung oder wenigstens Abtötung der Sporen durch die Gasbeleuchtung zurückzuführen ist, oder ob andere Faktoren dafür verantwortlich gemacht werden müssen. Da käme zunächst die natürliche Ventilation in Betracht, da diese durch die gleichzeitige sehr hohe Wärmeproduktion bei der Gasbeleuchtung beträchtlich gesteigert sein könnte, und da es dann nicht ausgeschlossen wäre, daß sie mit ihrem starken, nach oben gerichteten Luftstrome viele Sporen an der Decke des Versuchszimmers abgelagert haben könnte. Um diese Frage zu klären, wurden zunächst Ventilationsversuche sowohl „ohne" als auch „mit" gleichzeitiger Gasbeleuchtung angestellt und die Ventilationsgröße bestimmt. Das eine Mal („ohne" Gasbeleuchtung) wurden ca. 250 l Kohlensäure in das Versuchszimmer eingeleitet und mit Hilfe der in Bewegung befindlichen Luftbeweger kurze Zeit — 5 Minuten — mit der Luft vermischt. Dann wurden unmittelbar vor der ersten und nach der letzten Sporenluftentnahme der betreffenden Versuche Luftproben zur Analyse entnommen. Der Kohlensäuregehalt beider Proben wurde mit dem Haldaneschen Apparat ermittelt und mit Hilfe der Seidelschen Formel:

$$V = 2{,}303 \cdot C \cdot \log \cdot \frac{k_1 - k}{k_2 - k}$$

(wobei C der Rauminhalt in cbm, k_1 die Kohlensäure der Luft zu Beginn, k_2 die Kohlensäure der Luft am Ende des Versuches, beide in cbm, darstellt und k den mittleren Kohlensäuregehalt der Außenluft = 0,0004 cbm) die Ventilationsgröße berechnet.

Betrachten wir zunächst zwei Versuche ohne Gas:

1. Versuch (ohne Gas) am 1. September 1913: C = 57,1, $k_1 = 0{,}00057$, $k = 0{,}0004$, $k_2 = 0{,}0032$. Es ergibt sich für V: 10,4 cbm. Am 1. September gingen also während des betreffenden Versuches in jeder Stunde 10,4 cbm Luft aus meinem 57,1 cbm fassenden Versuchszimmer heraus, also etwa der 6. Teil.

2. Versuch (ohne Gas) am 11. September 1913 fand ich: $k_1 = 0{,}00485$, $k = 0{,}0004$, $k_2 = 0{,}0019$. Es ergab sich für V: 16,36 cbm. An diesem Tage entwich also aus dem Versuchszimmer, bzw. wurde neu ersetzt, etwa der 4. Teil der darin enthaltenen Luft.

Außer diesen beiden Ventilationsversuchen „ohne" Gas wurden noch zwei solche „mit" Gas vorgenommen. Dabei wurden ebenfalls Analysen von Luftproben gemacht, die unmittelbar vor der ersten und nach der letzten Sporenentnahme gewonnen wurden. Nur wurde bei diesen Versuchen keine Kohlensäure eingeleitet, sondern die von den Gasbrennern selbst produzierte Kohlensäure als Indikator verwendet. Die Ventilationsgröße wurde nach der Kohlrauschschen Formel berechnet:

$$v = \frac{n \cdot q + (k_1 - k_2) \cdot \frac{E}{T}}{\frac{k_1 + k_2}{2} - k}.$$

(Dabei ist $n \cdot q$ = Kohlenproduktion in cbm pro Stunde — 1 l Gas liefert bei der Verbrennung 0,569 l Kohlensäure — also 0,569 × Anzahl der verbrauchten Liter Gas geteilt durch die Anzahl der Stunden. k_1 = Kohlensäure der Luft zu Beginn des Versuchs; k_2 = Kohlensäure der Luft am Ende des Versuchs — beide in cbm —; k = Kohlensäure der Außenluft = 0,0004 cbm, E = Rauminhalt in cbm; T = Versuchszeit.)

1. Versuch (mit Gas) am 27. August 1913: Gasverbrauch: 1756 l, $k_1 = 0{,}0004$, $k_2 = 0{,}0101$, $E = 57{,}1$, $T = 3{,}83$. Als Ventilationsgröße wurde berechnet 23,98 cbm, entsprechend einer Lufterneuerung der halben Zimmerluft in einer Stunde.

2. Versuch (mit Gas) am 5. September 1913: Gasverbrauch: 2006 l, $k_1 = 0{,}00040$, $k_2 = 0{,}00955$, $E = 57{,}1$, $T = 3{,}83$ Stunden.

Die Ventilationsgröße betrug 35,28 cbm, entsprechend einer Lufterneuerung von ⅔ der Zimmerluft in einer Stunde.

Wir finden also eine verhältnismäßig starke Vermehrung der natürlichen Ventilation bei der Gasbeleuchtung dergestalt, daß bei den gegebenen Raum- und Beleuchtungsverhältnissen (drei Graetzinlichter in einem Raum von 57,1 cbm) die halbe oder sogar ⅔ der Zimmerluft innerhalb einer Stunde einmal erneuert wurde.

Das Ergebnis dieser Versuche stützt aber den Gedanken d o c h nicht, daß die auffällige Sporenverminderung bei der Gasbeleuchtung auf eine Entfernung der Sporen — etwa Anpressung an die Decke und die oberen Wandabschnitte — durch die Ventilation zurückzuführen sei. Denken wir uns einmal, alle Luft würde bei der natürlichen Ventilation nur durch den Fußboden einströmen und den Raum nur durch die Decke wieder verlassen — tatsächlich stehen ihr dazu auch die unteren bzw. oberen Wandabschnitte zur Verfügung — dann hätten wir, wenn sich die Luft in jeder Stunde ½ mal erneuerte, in unserem 3 m hohen Versuchszimmer eine Strömungsgeschwindigkeit der Luft von 3 mal ½ m pro Stunde, also in der Minute eine solche von 2,5 cm und in der Sekunde eine solche von etwa ½ mm. Unter der Annahme also, daß alle Luft nur durch die Decke entwiche, hätten wir nur eine Luftgeschwindigkeit von ½ mm pro Sekunde! Vergleichen wir damit die Luftgeschwindigkeiten, die durch unseren Luftbeweger künstlich erzeugt wurden, so wird es absolut unwahrscheinlich, daß die natürliche Ventilation das Sinken der Sporenzahl durch Andrücken der Sporen an die Decke veranlaßt haben könnte. Und noch aus einem anderen Grunde ist der Gedanke an eine solche Wirkung der Gasbeleuchtung durchaus unwahrscheinlich: Die aus meinen Versuchen gewonnenen mittleren Sporenkonzentrationszahlen zeigen auch bei der Gasbeleuchtung einen im Mittel g l e i c h m ä ß i g sinkenden Verlauf, wie er nur durch einen gleichmäßig wirkenden Faktor bedingt werden kann. Als solchen Faktor haben wir die Sedimentation kennen gelernt und auch die gleichmäßig brennenden Graetzin-Glühkörper könnten eine solche gleichmäßige Ver-

minderung der Sporenzahl durch Verbrennung bedingen. Demgegenüber ist die natürliche Ventilation mit Sicherheit ein ungleichmäßig wirkender Faktor, der mit steigender Temperatur anwächst. Wie fortgesetzte Temperaturbestimmungen mir gezeigt haben, stieg die Temperatur bei meinen Versuchen konstant an (z. B. von 21 auf 28°).

Obgleich darum die Frage eines ausgiebigen „Keimtransportes an die Decke" durch die erhöhte natürliche Ventilation bei der Gasbeleuchtung von dem Vivian Lewes [1]) überzeugt war, ohne Zweifel verneint werden muß, habe ich einmal nachgesehen, ob und in welchem Maße überhaupt Keime durch Luftströmungen an die Zimmerdecke transportiert werden.

Keimablagerung an der Zimmerdecke untersucht.

Ich umrahmte mit einem scharfen Messer unter Zuhilfenahme einer entsprechenden Pappschablone an 15 gleichmäßig über die Decke zerstreuten Stellen (vgl. Fig. 3) Quadrate von 5 cm Seitenlänge, feuchtete die betreffenden Flächen mittels eines „Sprays" mit sterilem Wasser an und sprengte mit einem hakenförmig umgebogenen Meißel innerhalb der Quadrate die Anstrichschichten, auf denen die Sporen sitzen mußten, von der Decke ab. Die abgesprengten Massen wurden in sterilen Petrischalen, die ich dicht darunter hielt, aufgefangen. Die Entnahmen II b, III b und IV b wurden unmittelbar über den 3 Gasbrennern, die Entnahmen III c und „zu" III c unmittelbar über dem Flügelrade vorgenommen. Die einzelnen Portionen Deckenanstrich wurden mit sterilem Wasser in sterilen Mörsern zu einem feinen Schlamm zerrieben, eine halbe Stunde auf 70° erwärmt, um etwaige Luftkeime abzutöten (die auf 3½ Stunden langes Kochen

1) Lewes schreibt: Im Journal of Gaslighting June 25, 1907: „Die organischen Bestandteile (einschließlich etwaiger Krankheitskeime) werden durch den Strom heißer Gase von den Brennern rasch nach der Decke geführt, wobei ein großer Teil der organischen Substanz zerstört und verkohlt wird. Die heiße Luft erreicht die Decke und diffundiert durch den Verputz und die Wände nach oben. Dabei bleibt die verkohlte Substanz zurück, abfiltriert durch die Oberfläche des Verputzes.

geeichten Subtilissporen konnten dadurch nicht geschädigt werden!) und dann auf je vier große Drygalskischalen überbracht. Wurden weniger als vier Drygalskischalen verwendet, so wurden die Platten so undurchsichtig, daß die Subtiliskulturen nicht mehr gezählt werden konnten. Der Anstrichschlamm in den Drygalskischalen wurde nun mit je 50 cbm Agar-Agar vermischt, die Mischung zum Erstarren gebracht, im Föhn abgetrocknet und der Brüttemperatur von 37° C ausgesetzt. Nach 48 Stunden waren alle Subtiliskulturen in den, durch die Anstrichteilchen dünn verschleierten Platten gut sichtbar geworden. Das Resultat der Zählung ist in der bereits erwähnten Figur 3 eingetragen. Es zeigte sich, daß die Sporenzahlen auf der Flächeneinheit der Decke recht verschieden groß waren. Eine besondere Verminderung oder Vermehrung über den Beleuchtungskörpern oder über dem Ventilator war nicht festzustellen, nur an der mit IV c bezeichneten Stelle fanden sich ohne besonders nachweisbare Gründe größere Sporenansammlungen. Ob hier vielleicht infolge einer Undichtigkeit der Decke die natürliche Ventilation eine besonders große Strömungsgeschwindigkeit der austretenden Luft erzeugte, oder ob hier zwischen den

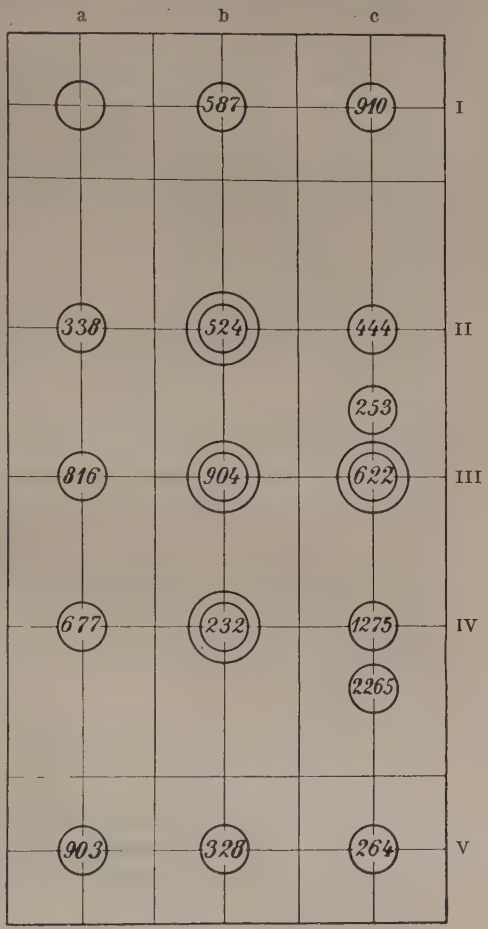


Fig. 3.

verschiedenen Strömungssystemen sich eine Art Delta gebildet hatte, muß dahingestellt bleiben.

Bestimmt man aus allen Entnahmen die mittlere Sporenzahl für 25 qcm der Decke, so ergeben sich für 25 qcm: 739 Sporen. Die Decke hatte eine Oberfläche von rd. 17,5 qm, enthielt also 175 000 qcm oder 175 000 : 25 = 7000 Flächeneinheiten von je 25 qcm Inhalt. Es waren also ca. $739 \cdot 7000 = 5\,173\,000$ Sporen an der Decke. Da unsere Entnahme der Deckenproben am Schlusse sämtlicher Versuche stattfand, gewährt sie ein Bild von der während sämtlicher Versuche an der Decke des Versuchszimmers erfolgten Sporenablagerung. Über ihre Größe können wir ein Urteil gewinnen, wenn wir die Zahl der Sporen an der Decke vergleichen mit der Zahl der Sporen, die überhaupt während aller Versuche, aufgewirbelt wurden.

Aus den Tabellen III und IV entnehmen wir folgende absoluten Sporenzahlen von der 4. Stunde nach der Sporenaufwirbelung: 9742, 12 516, 14 658, 15 788, 3532, 5219, 14 747, 14 768. Außerdem wurden bei der ersten Versuchsreihe (vgl. Tabelle I) dreieinhalb Stunden nach der Sporenaufwirbelung 10 891 Sporen gefunden. Berücksichtigen wir gemäß Tabelle III ein mittleres Absinken von 12% innerhalb einer halben Stunde, so bekommen wir für diese Versuchsreihe für vier Stunden nach der Sporenaufwirbelung eine Zahl von 9595 Sporen. Bei einem Versuche vom 22. August, der im übrigen beim Plattengießen verunglückte, gewann ich von vier Stunden nach der Sporenaufwirbelung eine Sporenzahl von 7000. Außerdem verunglückten vollständig vor der ersten der in dieser Arbeit aufgezählten Versuchsreihen vier Versuchsreihen beim Kulturverfahren. Ich lege bei ihnen einen aus den entsprechenden Zahlen der übrigen Versuche berechneten Mittelwert von 10 886 Sporen zugrunde. Zählt man dann die Sporenzahlen aller 13 Versuchsreihen von der vierten Stunde nach der Sporenaufwirbelung zusammen, so erhält man 141 514 Sporen auf 40 l Luft. Aus dieser Zahl kann ich die Summe der Sporen, die unmittelbar nach der Aufwirbelung in 40 l der Zimmerluft, in allen Versuchen zusammengenommen, enthalten waren, berechnen:

Gemäß unserer oben gewonnenen Erfahrung, nach der die absoluten Sporenzahlen in jeder Stunde um 24%, also von 100 auf 76% abnehmen, kann ich folgende Proportion ansetzen: Die absolute Sporenzahl, 3 Stunden nach der Sporenaufwirbelung, verhält sich zu der 4 Stunden nach der Aufwirbelung wie 100 : 76. Daraus ergibt sich: $x : 141\,514 = 100 : 76$, also $x = 186\,203$. Die absolute Sporenzahl von 40 l Luft in allen Versuchen zusammengenommen, 3 Stunden nach der Sporenaufwirbelung, beträgt also 186 203. Entsprechend berechnet finden wir als Summe der absoluten Sporenzahl 2 Stunden nach der Sporenaufwirbelung 244 740, 1 Stunde danach 322 031 und zur Zeit der Sporenaufwirbelung selbst: 418 462. Diese Zahlen muß ich nun noch mit der Anzahl von je 40 l Luft, die im Versuchszimmer enthalten waren, multiplizieren, um die Summe aller überhaupt in dem Zimmer aufgewirbelten Sporen zu erhalten. 1 cbm enthält $1000\,l = 25 \cdot 40$ l, das Versuchszimmer enthielt 57,1 cbm, also muß ich die obige Zahl mit $57{,}1 \cdot 25$, d. h. mit 1428 multiplizieren. Es ergibt sich, daß überhaupt 597 565 736, also rd. 600 Millionen Sporen aufgewirbelt wurden. Da nur rd. 5 Millionen Sporen an der Decke angetroffen wurden, so sind, verglichen mit der Zahl aller aufgewirbelten Sporen, dort nur 0,8% angetroffen worden.

Als Resultat meiner Untersuchung möchte ich folgendes bezeichnen:

1. Es ist eine nachweisbare Wirkung der Gasbeleuchtung auf den Keimgehalt der Luft vorhanden. In einem Zimmer von 57,1 cbm Inhalt sank die Keimzahl in der Mengeneinheit Luft „ohne“ Gasbeleuchtung innerhalb 1 Stunde bei möglichst gleichmäßiger künstlicher Luftbewegung, im Mittel von 100% auf 76%, also um 24%. Bei gleichzeitiger Gasbeleuchtung mit drei großen Graetzinbrennern, die mit offenen Glocken versehen waren, zeigte sich dagegen — unter sonst übereinstimmenden Versuchsbedingungen — ein Absinken der Keimzahl von 100 auf 60%, also um 40% in der Stunde.

2. Die hier beobachtete stärkere Verminderung der Keimzahl um 16% ist höchst wahrscheinlich ausschließlich auf Ver-

brennung der Keime an den Glühkörpern oder auf Abtötung durch die heißen Gase zurückzuführen.

3. Eine Anpressung bzw. „Abfiltrierung" von Luftkeimen findet bei der Gasbeleuchtung trotz vermehrter Ventilation an der Zimmerdecke nicht in nennenswerter Menge statt.

4. Die beobachtete Keimverminderung ist zu geringfügig, als daß ihr eine praktische Bedeutung für die Desinfektion der Zimmerluft zugebilligt werden könnte.

Zum Schluß möchte ich noch auf zwei technische Maßnahmen aufmerksam machen, die sich bei meinen Untersuchungen bewährt haben:

1. Um bei der Füllung der Ficker-Hahnschen Luftfilterröhrchen Undichtigkeiten auszuschließen, empfiehlt es sich, dem gewöhnlich zur Füllung verwendeten gröberen Quarzkörnchen feinere, etwa vom Bodensatze des Körnchenvorrates beizumischen. Ferner bewährt sich eine Verstärkung der Hauptfilterschichte auf 5 cm Schichthöhe gegenüber den von Ficker angegebenen 2,5 bis 2,7 cm. Wenn man außerdem, nach der Sterilisation, die Filtermasse durch Schütteln und Drücken mit einem sterilen Stempel nochmals das Filter festpreßt, so gelingt es, bei der Luftfiltration den Keimgehalt im Kontrollfilter auf bedeutungslose Werte herabzudrücken.

2. Wenn es bei Luftuntersuchungen darauf ankommt, die Schimmelpilze aus den Kulturen auszuschließen, so empfiehlt sich die Aussaat in Nähragar mit Zusatz von 1% Gelatine. Die Kulturen kommen nach Abtrocknen der gegossenen Platten (12 Stunden bei geöffnetem Deckel im Brütschrank von 37°, oder 25 Minuten lang im „Föhn" von 30°) bei 37°, schimmelfrei zur Entwicklung.

Lebenslauf

von Knud Ahlborn (1888—1914.)

21. April 1914.

Am 14. März 1888 wurde ich als Sohn des damaligen Oberlehrers Dr. Friedrich Ahlborn zu Hamburg geboren.

Ich besuchte das Realgymnasium des Johanneums zu Hamburg bis zur Reifeprüfung Michaelis 1906. Danach studierte ich 5 Semester Medizin an der Universität Göttingen bis zum Physikum Ostern 1909, blieb mein erstes klinisches Semester in Göttingen und ging dann zum weiteren klinischen Studium nach München. Während des Sommersemesters 1911 bekleidete ich hier die Stelle eines Koassistenten am Pathologischen Institut und begann eine Dr.-Arbeit über „Vergleichende Gewichtsbestimmungen der Organe mit innerer Sekretion bei verschiedenen Krankheiten". Diese Arbeit konnte ich wegen wiederholter schwerer Anginen nicht zu Ende führen.

Am 25. Mai 1912 bestand ich mein medizinisches Staatsexamen und ging danach für 4 Monate als Medizinalpraktikant an das Eppendorfer Krankenhaus zu Hamburg. Ich übte mich dort an der Aufnahmestation der „inneren Abteilung" in der Diagnostik, in den zwei letzten Monaten, in einem Frauenpavillon mit gemischten Krankheitsfällen, auch in der Therapie.

Von Eppendorf ging ich auf ein halbes Jahr an das Hygienische Institut der Universität München zu Herrn Professor v. Gruber. Durch ihn angeregt und unterstützt begann ich die

vorliegende Arbeit: „Über die desinfizierende Wirkung der Gasbeleuchtung auf Zimmerluft".

Die letzten zwei Monate meiner Medizinalpraktikantenzeit verbrachte ich an der Chirurgischen Polyklinik der Universität München, bei Herrn Professor Clausner. Danach setzte ich meine Dr.-Arbeit am Hygienischen Institut fort und brachte ihren experimentellen Teil bis zum Oktober 1913 zum Abschluß.

Inzwischen hatte ich am 20. August meine ärztliche Approbation erhalten. Am 1. November 1913 trat ich als Assistent in den Dienst des Physiologischen Instituts von Herrn Professor Voit zu München. Dank weitgehenden Entgegenkommens von Seiten des Institutsvorstandes konnte ich den theoretischen Teil meiner Dr.-Arbeit noch im Wintersemester 1913/14 im wesentlichen zu Ende führen.

Knud Ahlborn, approb. Arzt.